

DISPATCH-OPTIMIERUNG EINES HYDROTHERMALEN KRAFTWERKSPORTFOLIOS

Inhalt der Arbeit

Inhalt der Arbeit ist die Kostenoptimierung des Betriebs brennstoffgetriebener Kraftwerke mit und ohne eine Integration von Pumpspeicherwerken. Der simulierte Kraftwerkspark besteht aus zehn Kraftwerken (eher unflexibel steuerbare aber kostengünstig hohe Leistungen bereit stellende Grundlastkraftwerke, etwas flexibler einsetzbare aber teurere Mittellastkraftwerke und schnell steuerbare aber relativ kostenintensive Spitzenlastkraftwerke) sowie drei Pumpspeicherwerken (PSW), die Energie flexibel ein- und ausspeichern konnten. Ein Transport- und Verteilungsnetz wurde nicht simuliert. Es wurde über verschiedene Planungshorizonte optimiert, beginnend mit einem Tagesraster von 24 Stunden bis hin zu sieben Tagen respektive einer Woche mit 168 Stunden.

Rechenzeit und Bedarf an Arbeitsspeicher

Da das zu lösende Problem NP-hart ist und einen entsprechenden Einsatz von Rechnerressourcen bedingt, wurde nach ersten Berechnungen auf einem Standard-Arbeitsplatzrechner auf die Compute Cloud

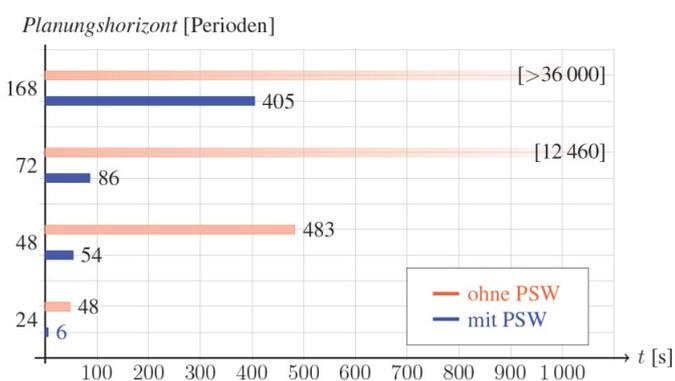


Abbildung 1: Laufzeiten der Optimierung

des Rechenzentrums der TU Clausthal zugegriffen und dort die verwendete Software (GAMS, General Algebraic Modeling System) gestartet. Für die Berechnungen wurden 16 CPUs und 32 GB Arbeitsspeicher bereit gestellt. Im Verlauf der Berechnungen zeigte sich, dass bei großen Probleminstanzen (> 96 Stunden) nicht nur sehr lange Laufzeiten zu beobachten waren (vgl. Abbildung 1 und Tabelle 1), auch wuchs der Bedarf an Arbeitsspeicher

sehr stark an, da allein der Suchbaum eine Größe von über 100 GB erreichte. Bei Integration der Pumpspeicherwerke in das Modell zeigte sich, dass die Laufzeiten deutlich geringer wurden. Im Umkehrschluss kann damit davon ausgegangen

	24	48	72	168
	<i>Laufzeit in Sekunden</i>			
ohne PSW	48,08	483,02	12460,43	–
mit PSW	5,69	53,77	86,86	405,03
	<i>Iterationen</i>			
ohne PSW	125 094	1 785 746	50 017 394	–
mit PSW	17 801	79 824	135 001	482 521
	<i>Nodes</i>			
ohne PSW	2154	37 049	939 424	–
mit PSW	300	1 035	1 250	6 892

Tabelle 1: Laufzeiten und Speicherbedarfsabschätzung

werden, dass allein das Vorhandensein einer Speichermöglichkeit die anfallenden Kosten so deutlich verringert, dass der Einsatz konventioneller Kraftwerke ohne PSW für die Berechnungen frühzeitig nicht mehr relevant erscheint und diese Teile des Suchbaums nicht weiter evaluiert werden müssen. Dies gilt unter der Annahme, dass der Einsatz der PSW keine zusätzlichen Kosten wie Netzentgelte oder Speichergebühren aufwirft, sondern allein der Energieverlust durch Pumpen und Turbinieren als indirekte zusätzliche Kosten auftritt.

Fahrplanoptimierung konventioneller Kraftwerke

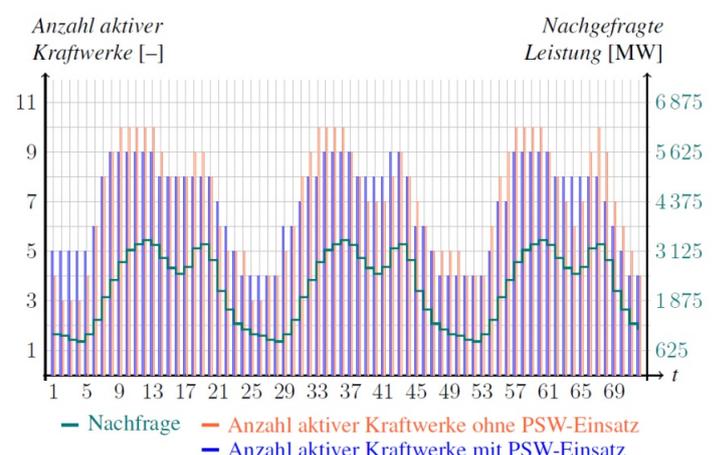


Abbildung 2: Anzahl aktiver Kraftwerke im Vergleich

Die zu optimierenden Fahrpläne der konventionellen Kraftwerke führten insgesamt zu dem Ergebnis, dass

mit Einschaltkosten belegte Startvorgänge der Kraftwerke seltener wurden, was in Einklang mit der wirtschaftlichen Erwartung steht. Auch konnten Kraftwerke entweder länger durchlaufen als bei Einsatz ohne PSW oder mussten im Gegenzug andere nicht in Betrieb gehen (vgl. Abbildung 2). Durch die Verwendung von PSW konnten in den betrachteten Planungsperioden nach anfänglichem Einschwingen ca. 2% der anfallenden Kosten eingespart werden (im Vergleich zum Kraftwerksbetrieb ohne PSW), hierbei lag der Anteil der Anfahrkosten bei 20-30% der Gesamtkostenersparnis im optimierten Intervall.

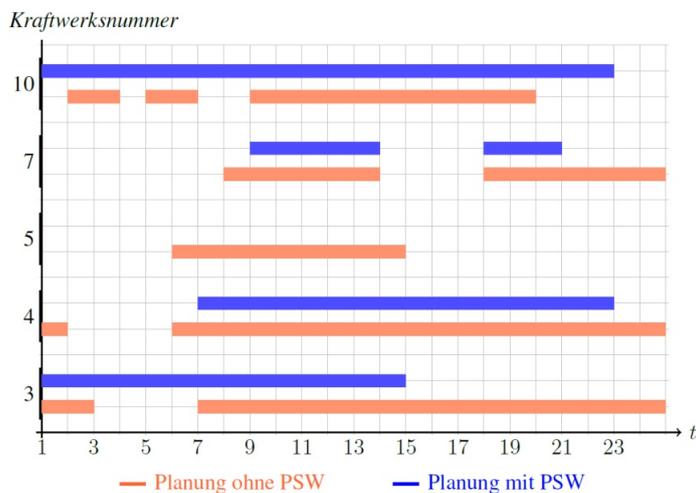


Abbildung 3: Fahrpläne in Gantt-Darstellung

Die Darstellung der Einsatzplanung als Gantt-Diagramm (vgl. Abbildung 3) zeigt die Betriebszeiten für einzelne repräsentative Kraftwerke in der übersichtlichen Gantt-Balkenform.

Verhalten der Pumpspeicherwerke

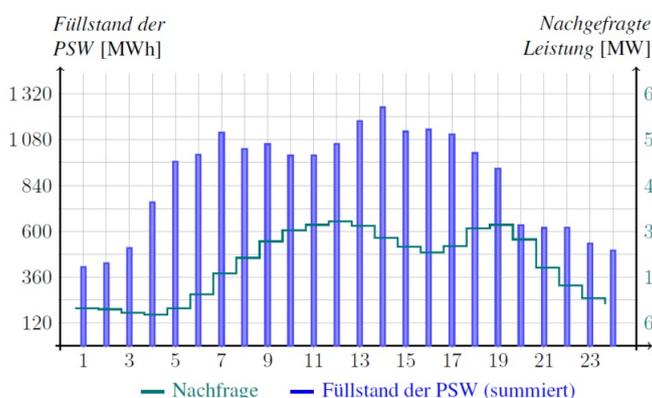


Abbildung 4: Füllstand und Nachfrage (24 h)

Die PSW verhielten sich im optimierten Zeitabschnitt hinsichtlich ihres Füllstands annähernd erwartungsgemäß. So ist der Verlauf der Füllstände erkennbar gegenläufig zur Stromnachfrage (vgl. Abbildung 4 und 5), wengleich aufgrund der

Optimierung unter Kostenaspekten Abweichungen von dieser Erwartung auftreten. Im Modell waren drei PSW enthalten, die Füllstände wurden hier summiert aufgetragen. Die Daten der Nachfrage, in Abhängigkeit derer die Planung zu optimieren war, entstammten ebenso wie die Daten der Kraftwerke aus früheren Arbeiten anderer Autoren.

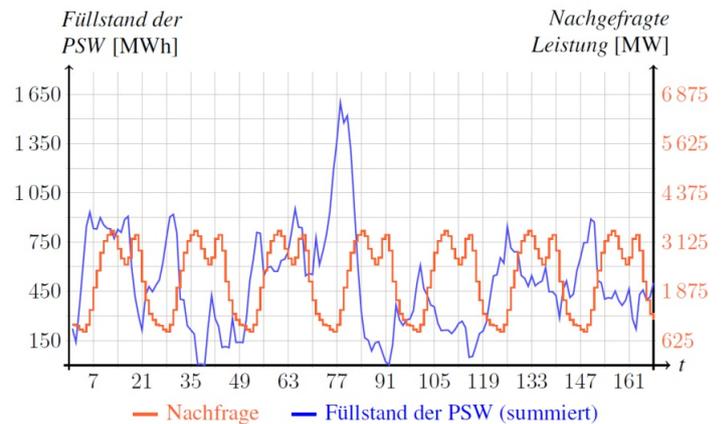


Abbildung 5: Füllstand und Nachfrage (168 h)

Im Verlauf der Erarbeitung und Modellrechnungen zeigte sich, dass die PSW mit ihren Leistungsfähigkeiten der Pumpen und Turbinen sowie ihren Speichervolumina in stimmiger Relation zum konventionellen Kraftwerkspark zu modellieren sind. Hier können Probleme auftreten, wenn die Leistungsdaten zu gering dimensioniert sind (häufiges Erreichen der Leistungsgrenzen). Gleiches ist auch bei zu großer Leistungsfähigkeit in Bezug auf das Speichervolumen zu erwarten. Die Darstellung des beschriebenen Verhaltens der ursprünglich eingesetzten PSW schließt diese Zusammenfassung ab (vgl. Abbildung 6).

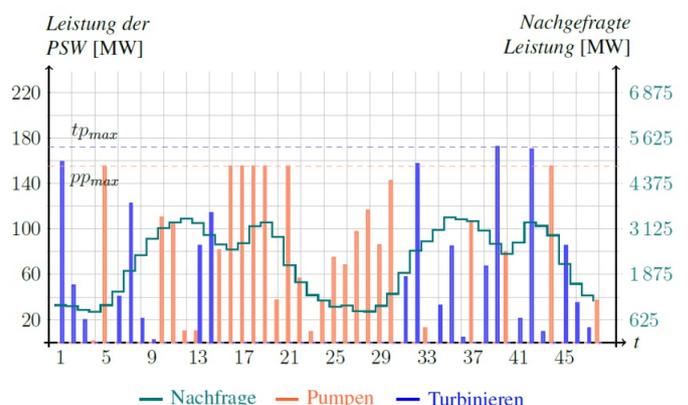


Abbildung 6: Erreichung der Maximalleistungen